Vol.14, No.1, Spring 2025, pp.299-324 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

Research Article DOI: 10.22067/geoeh.2024.85119.1425 Open Access

Investigating the impact of increasing cultivated area and population growth on the surface water resources of the Mahabad Dam Basin using the WEAP model

Nezamoddin Mahmoudi[a], Hirad Abaghari[b*]

[a] PhD student in watershed management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

[b]Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Article Info

Article history

Received :*31 October 2023*
Received in revised form: *5 June 2024*
Accepted: *10 June 2024*
Available online : *21 March 2025*

Keywords:

Population Growth Scenario
WEAP Model
Water Resources Management
Mahabad Dam Basin
Agricultural Land Expansion

Abstract

Today, because of population growth, improvement of public health and welfare, development of industry and growth of economic and agricultural activities, per head water consumption has greatly increased, and due to the deficiency of water and the imbalance between supply and demand, the management of water resources is very complex and important. The WEAP model evaluates the effect of changing the amount of water allocated to different consumers on the economic benefits of water consumption. This advantage is very important, especially when it is necessary to evaluate the long-term effects of changing allocation in water resources. That is why WEAP has been used in this research. The purpose of this research is to investigate the status of water resources in the Mahabad dam and the impact of an increase in demand on meeting the needs. In this research, after collecting and completing the required information, the input file was created and the WEAP model was calibrated for a statistical period. Then, exploitation scenarios for the dam reservoir were developed and implemented, and the obtained results were evaluated. The simulated scenarios include the increase of cultivated area by 10, 20, and 30 percent and the population growth scenario. The results show that according to the reference scenario, Mahabad Dam will face a shortage of 18.8 million cubic meters, and according to the scenarios S4, S3, S2, S1, it will face a shortage of 30, 41, 52, and 21 million cubic meters, respectively. The selected scenario is the reference scenario that provides better conditions for the reservoir in terms of reliability and supply of water demands, and the maximum volume of water stored in the reservoir.

*.Corresponding author : Dr. Hirad Abaghari E-mail address: h.abghari@urmia.ac.ir

How to cite this article: Mahmoudi, N., & Abaghari, H. (2025). Investigating the impact of increasing cultivated area and population growth on the surface water resources of the Mahabad Dam Basin using the WEAP model. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *14*(1), pp. 299-324, DOI:https://doi.org/10.22067/geoeh.2024.85119.1425

Extended Abstract

Introduction

Water resource allocation determines consumption priorities in various sectors, such as drinking, industry, and agriculture. The use of effective solutions for optimal water resource allocation and simulation of the decision-making process in prioritizing development and sustainable use of water and soil resources is of great importance. Therefore, many regions of the world face serious challenges in managing freshwater resources. Limited water resource allocation has led to environmental concerns, planning for water diversity, and the need for sustainable water consumption strategies. Supply-oriented simulation models are also always insufficient for examining water resource management options (Loucks and van Beek, 2017). In the past decade, an integrated approach to water resource development has emerged that directs water supply methods towards demand management, water quality preservation, and ecosystem protection. Due to population growth, improvements in public health and welfare, industrial expansion, and growth in economic and agricultural activities, water demand has increased significantly. Also, considering the severe water scarcity and imbalance between supply and demand, water resource management has become very complex and crucial. Various models, such as the WEAP model, have been developed to simulate integrated water resource management and evaluate how to allocate limited water resources among different consumers. The aim of this research is to examine the status of water resources in the Mahabad Dam Basin and the impact of increased demand scenarios on meeting the needs.

Material and Methods

The Mahabad Dam Basin is located in the northwest of Iran, in West Azerbaijan Province, covering an area of 1384 square kilometers. This basin extends between the geographical coordinates of 45°25’59" and 45°53’59" East longitude and 36°22’59" and 36°59’59" North latitude. The study area includes two sub-basins, Koter and Beitass (upstream of Mahabad Dam), and the Mahabad Plain (downstream of Mahabad Dam). The Koter sub-basin, with an area of 467 square kilometers, is located in the western part of the study area. The Beitass sub-basin, with an area of 285.87 square kilometers, is located in the eastern part of the basin. In this study, weather data, including daily precipitation and minimum and maximum daily temperatures, hydrological data, including daily flows, and physiographic characteristics of the basin were collected to form the WEAP model. The reservoir storage volume and levels of the Mahabad reservoir from 1992 to 2011 and 2012 to 2021 were used for calibration and validation. Subsequently, scenarios were designed and implemented, and the results were evaluated. The scenarios used are increasing agricultural land area by 10%, 20%, and 30%, and population growth.

Results and Discussion

The results indicate that the Mahabad Dam will face a deficit of 8.18 million cubic meters according to scenarios S1, S2, S3, and S4, with shortages of 30, 41, 52**,** and 21 million cubic meters, respectively. Notably, the deficits highlight significant challenges in meeting the projected water demand. The highest water demand over the 17-year

horizon is for agricultural use, underscoring the critical role that agricultural activities play in the region's economy and food security. This heavy reliance on water for agriculture necessitates careful planning and resource management to prevent agricultural losses and ensure sustainability. Among the operational scenarios analyzed, the reference scenario was chosen as the preferred scenario due to having the highest water supply percentage and reliability index. This choice indicates a strategic prioritization of water resources to maximize efficiency and support agricultural needs**,** while also promoting long-term sustainability. The implications of adopting the reference scenario could lead to a more resilient water management framework, allowing stakeholders to navigate challenges more effectively in the face of varying demand and supply conditions.

Conclusion

In the current study, water resources were simulated using the WEAP model, analyzing various scenarios to compare water allocation during the base period and projections of population growth and increased cultivated areas. The results indicate that during the summer, when agricultural water demand peaks, not all needs can be met, leading to unmet demand that could increase from 18 million cubic meters per year to 52 million with expanded cultivation. As urban demand is prioritized, the water allocated to agriculture, the environment**,** and industry will inevitably decrease unless urban needs are fully satisfied. While potable water supply for Mahabad is likely to remain adequate, agricultural demands have the lowest reliability among all needs assessed. The reliability index shows that increasing cultivated areas will result in a 9% decrease compared to the base period, highlighting the urgent need for effective water management (Hellmann et al., 2010). Continued population growth and rising cultivation levels make achieving a balance in water supply and demand in the Mahabad Dam watershed unlikely.

جلد ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صص ۳۲۴-۲۹۹ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی



مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2024.85119.1425 دسترسی آزاد

بررسی تاثیر افزایش سطح زیرکشت و رشد جمعیت بر منابع آب سطحی حوضه آبخیز سد مهاباد با استفاده از مدلWEAP

نظام الدین محمودی[1]، هیراد عبقری[2*]

[1]دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

[2*]دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۱

کلمات کلیدی:

سناریوی رشد جمعیت

مدلWEAP

مدیریت منابع آب

حوضه سد مهاباد

گسترش اراضی کشاورزی

چکیده

امروزه به دلیل رشد جمعیت، ارتقای سطح بهداشت و رفاه عمومی، گسترش صنعت و رشد فعالیت‌های اقتصادی و کشاورزی، سرانهٔ مصرف آب به شدت افزایش یافته است.همچنین با توجه به کمبود شدید آب و عدم توازن بین عرضه و تقاضا، مدیریت منابع آب بسیار پیچیده و با اهمیت شده است. در همین راستا مدل‌های مختلفی از جمله مدلWEAP به منظور شبیه‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب و ارزیابی چگونگی تخصیص منابع آبی محدود میان مصرف کنندگان مختلف توسعه یافته‌اند. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی وضعیت منابع آبی حوضه آبخیز سد مهاباد و تاثیر سناریوهای افزایش تقاضا بر نحوه تامین نیازها می‌باشد. در این تحقیق پس از جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی ازجمله بارش‌های روزانه و دمای حداقل و حداکثر روزانه، اطلاعات هیدرولوژیکی از جمله دبی‌های روزانه و مشخصات فیزیوگرافی حوضه فایل ورودی مدلWEAP تشکیل داده شد. داده‌های مقادیر حجم و تراز مشاهداتی سد مخزنی مهاباد در بازه زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. در ادامه سناریوهای بهره‌برداری از مخزن سد تدوین و اجرا شده و نتایج بدست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت. سناریوهای مورد استفاده شامل سناریوی افزایش سطح زیرکشت۱۰،۲۰ و۳۰ درصدی نسبت وضعیت کنونی و سناریوی افزایش جمعیت می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که سد مهاباد طبق سناریو مرجع با کمبود ۱۸/۸ میلیون مترمکعب و براساس سناریوهای S1، S2، S3 و S4 به ترتیب با کمبود ۳۰، ۴۱، ۵۲ و ۲۱ میلیون متر مکعب روبه رو خواهد شد. بیشترین نیاز تأمین آب در افق ۱۷ ساله مربوط به کاربری کشاورزی می‌باشد. از میان سناریوهای اجرایی، سناریو مرجع به دلیل اینکه دارای بیشترین درصد تامین آب بوده و شاخص اطمینان پذیری بالایی دارد، به عنوان سناریو برگزیده انتخاب گردید.

* نویسنده مسئول: دکتر هیراد عبقری E-mail address: h.abghari@urmia.ac.ir

مقدمه

امروزه به دلیل رشد جمعیت، ارتقای سطح بهداشت و رفاه عمومی، گسترش صنعت و رشد فعالیت‌های اقتصادی و کشاورزی، سرانهٔ مصرف آب به شدت افزایش یافته و با توجه به کمبود شدید آب و عدم توازن بین عرضه و تقاضا، مدیریت منابع آب بسیار پیچیده و با اهمیت شده است. تأثیر توسعهٔ بالادست حوضه بر مصارف و تقاضای پایین‌دست، یکی از زمینه‌های مطرح در مدیریت منابع آب است. در دو دههٔ اخیر در سراسر جهان سعی گردیده است که استفاده از منابع آبی محدود و تخصیص آن به مصرف‌کنندگان، با نگرشی یکپارچه انجام شود. در همین راستا مدل‌های مختلفی به منظور شبیه‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب و ارزیابی چگونگی تخصیص منابع آبی محدود میان مصرف‌کنندگان مختلف توسعه یافته‌اند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به MODSIM[1]، MIKEBASIN، RIBASIM[2] و WEAP[3] اشاره کرد (Ilich, 2024).

مدل RIBASIM نه تنها شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک بلکه جزییات تخصیص آب از سایر مدل‌ها قویتر است اما تدوین و آماده‌سازی آن مستلزم صرف هزینه‌های زیادی است. در مدل MODSIM ممکن است تمام کمبودها به یک نقطهٔ مصرف تحمیل شوند درحالی که در WEAP، کمبودها به طور مساوی بین نقاط نیازِ با اولویت یکسان تقسیم می‌شوند. مدل MIKE BASIN به نقاط نیاز بالاتر آب بیشتری تخصیص می‌دهد درصورتیکه WEAP در این خصوص عادلانه‌تر عمل می‌کند. در مدل MIKE BASIN امکان انتقال کمبود به دوره زمانی بعدی وجود دارد، درحالیکه در MODSIM این امکان در نظر گرفته نشده است. در مدل MIKE BASIN زیر برنامه‌های آب زیرزمینی و کیفیت، مربوط به خود مدل است درحالیکه WEAP برای این منظور از نرم افزارهای دیگر کمک می‌گیرد. از میان مدل‌های یادشده، تنها مدل WEAP است که اثر تغییر میزان آب اختصاص یافته به مصرف‌کنندگان مختلف را بر منافع اقتصادی حاصل از مصرف آب ارزیابی می‌کند که این مزیت به ویژه هنگامی حائز اهمیت است که اثرات طولانی مدت تغییر تخصیص در منابع آب ارزیابی شود. در مجموع با توجه به مقایسه انجام شده، نحوهٔ پشتیبانی و مدنظر قرار دادن هزینه‌ها، مدل WEAP برای شرایط کنونی کشور مناسب‌تر است (Bagheri & Morid, 2013).

WEAP براساس معادلات پایه بیلان آبی عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های رودخانه‌ای مرزی پیچیده به کار برد. ساختار داده‌ها و سطح جزئیات را می‌توان به سادگی به شکل دلخواه درآورد تا نیازهای یک تحلیل خاص را برآورده کرد و محدودیت‌های ناشی از کمبود داده‌ها را نشان داد (Pourmohammadi, Fatemi, Rasaie, Hashemi Monfared & Khosravi, 2021). مطالعات متعددی با استفاده از WEAP در سراسر جهان انجام شده است که به عنوان نمونه می‌توان به زیر اشاره کرد:

1 Modeling and simulation
2 River Basin Simulation
3 Water Evaluation and Planning System

ابریشم چی و همکاران (Abrishamchi, Alizadeh, Tajrishy & Abrishamchi, 2007) با استفاده از مدل WEAP سناریوهای مدیریت منابع آب حوضه آبخیز رودخانه کرخه را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بررسی ایشان، قابلیت مدل WEAP را در تجزیه و تحلیل سناریوهای مدیریت منابع آب در مقیاس حوضه رودخانه نشان داد. اینگول بلانکو و مک کیلی (Ingol-Blanco & McKinney, 2009)، با استفاده از WEAP مدل هیدرولوژیکی حوضه ریوکنکاس را که در کشور مکزیک در شیهاهو واقع شده است، شبیه‌سازی کردند. با در نظر گرفتن نمودارهای شبیه‌سازی جریان با داده‌های چند ایستگاه مختلف ضریب رگرسیون بدست آمده برابر R=0.95 می‌باشد که نشانگر ضریب همبستگی و عملکرد بالای مدل است. بنابراین نتایج بدست آمده بیان کننده مطابقت خوب بین مشاهدات واقعی و مدل شبیه‌سازی شده جریان می‌باشد.

رمضان و همکاران (Ramadan, Shalash, Fahmy & Abdel-Aal, 2019)، در ایالت شاریکا در شرق رود نیل با استفاده از مدل WEAP به مدل‌سازی عددی حوضه پرداختند. آنان برای تعیین میزان تقاضا و کمبود آب در آینده چندین سناریو را تعریف کردند. نتایج نشان داد که استفاده مجدد از آب‌های زهکشی شده حساس‌ترین پارامتر در مدل است. یعقوبی و همکاران (Yaghobi, Shabanlou & Yosefvand, 2014)، در مطالعه‌ای حوضه آبخیز قره‌سو برای شبیه‌سازی بارش- رواناب از مدل WEAP استفاده کرده اند. محاسبات به دست آمده از مدل نشان داد که سطح مشارکت زیرحوضه کوچک و بزرگ در خورجی حوضه سیلابی به مقدار رواناب زیرحوضه بستگی ندارد و زیرحوضه با رواناب بیشتر لزوما سهم بیشتری در رواناب خروجی ندارد. به عبارت دیگر، زیرحوضه‌ها یک نوع از رفتار غیرخطی نشان دادند.

شرافتی و سبحانی سنجبد (Sharafati & Sabhani Sanjbad, 2019)، با استفاده از مدل WEAP به بهینه‌سازی تخصیص آب مخزن سد یامچی پرداختند. آنان با استفاده از داده‌های ده ساله موجود ۱۳۹۷-۱۳۸۷ نیازهای آبی و آورد ماهیانه آبی سد را مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که اولویت اول منطقه آب شرب می‌باشد همچنین دریافتند که در صورت تخصیص کامل نیاز شرب و محیط زیست در بهترین حالت تنها ۵۵ درصد نیاز کشاورزی قابل تأمین می‌باشد.

مردانیان و همکاران (Mardanian, Zare Bidaki & Abdollahi, 2020)، در تحقیقی تخصیص بهینه منابع آب حوضه خانمیرزا را با استفاده از مدل WEAP مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور چهار سناریوی محتمل سناریوی مرجع، سناریوی بدبینانه، سناریوی خوش‌بینانه و سناریوی واقع‌گرایانه در ده سال آینده را در مدل مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد به ترتیب در سناریوی مرجع، سناریوی بدبینانه، سناریوی خوش‌بینانه و سناریوی واقع‌گرایانه ۵۱، ۷۹، ۳۰ و ۴۱ میلیون مترمکعب از حجم تقاضا قابل تحویل نیست.

رحیمی و حافظ پرست (Rahimi & Hafez Parast Moddat, 2022)، با استفاده از مدل WEAP پیش‌بینی رواناب با مدل SVR در سناریوهای اقلیمی و برآورد تقاضاهای آبی ناشی از تغییرات آن را بررسی کردند. در این پژوهش پارامترهای ماهانه‌ی دما و بارش سد جامیشان با استفاده از روش عامل تغییر ریزمقیاس و برای دوره آتی تولید شدند. از روش یادگیری ماشینی رگرسیون بردار پشتیبان تصحیح شده با تغییر در پارامترهای موثر برای پیش‌بینی رواناب در دوره تغییر اقلیم استفاده گردید. نتایج مدل اقلیمی به طور میانگین افزایش

دمای ۰/۵ تا ۱/۵ درجه سلسیوس را در طول دوره ی آماری نشان می‌دهد. نتایج بارش شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که میانگین بارش ماهیانه با سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی آتی در مدل HADGEM2_ES با افزایش ۵٪ و در مدل MIROC5 با کاهش ۶ ٪ نسبت به دوره‌ی پایه همراه بوده است. بررسی نتایج پیش‌بینی دبی با استفاده از مدل SVR حاکی از آن است که رواناب نسبت به دوره‌ی پایه با کاهش همراه است. به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب با استفاده از نرم افزار WEAP به شبیه‌سازی سد جامیشان پرداخته شد. بدین منظور با درنظر گرفتن سه الگوی کشت متفاوت مقادیر تأمین و کمبود برای هر نیاز برآورد گردید. شبیه‌سازی الگوی کشت‌های مختلف در WEAP نشان می‌دهد به طور میانگین تأمین برابر با ۷۵٪ است.

لیانی و بخشوده (Layani & Bakhshoodeh, 2022) به منظور ارزیابی اثرات تغییرات شرایط آب و هوایی حوضه آبخیز رودخانه خیرآباد از مدل شبیه سازی WEAP استفاده کردند. نتایج نشان داد که شاخص بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب محاسبه شده در شرایط اقلیمی میانه برای محصولات جو، گوجه و خیار بیشترین اثرپذیری را از تغییر شرایط آب و هوایی داشته است.

دشتی و همکاران (Dashti, Sani, Hosseinzadeh & Majnoni, 2022)، با استفاده از مدل WEAP به ارزیابی شاخص‌های پایداری کشاورزی تحت سناریوهای اقلیمی و مدیریت منابع آب در حوضه آبخیز آجی چای پرداختند. از میان سناریوهای مدیریتی، افزایش راندمان آب آبیاری بیشتر از سایر سناریوها تقاضای برآورد نشده را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر پایداری منابع آب می‌گردد.

اکبری و همکاران (Akbari, Shamsi, Khani Tamlieh & Mirabbasi Najafabadi, 2023)، در تحقیقی به ارزیابی بهره‌برداری از سدها تحت برنامه‌های مختلف مدیریتی با استفاده از مدلWEAP پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده برای سناریوی مرجع، این سد به تنهایی پاسخگوی تمام نیازهای تعریف شده به طور کامل در افق طرح نمی‌باشد، مگر با اعمال اقداماتی مدیریتی در قالب سناریوها، که باعث کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف تقاضا شود.

حکمی‌کرمانی و همکاران (Hakami-Kermani, Babazadeh, Porhemmat & Sarai-Tabrizi, 2020)، در پژوهشی به ارزیابی شاخص‌های عملکرد سیستم مخزن سد نمرود در سناریوهای تغییر اقلیم پرداختند. جهت نیل به این هدف به ریز مقیاس نمایی داده‌های EC-EARTH-GCM با استفاده از مدل LARS-WG6 پرداختند. جهت بررسی و تخصیص منابع آب از مدل WEAP استفاده کردند. نتایج نشان داد که بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۸/۳۶٪ و ۱۲/۶۴٪ کاهش در عملکرد شاخص های مخزن می‌شود. همچنین با کاهش ۳۰ درصدی تقاضای آب برای کشاورزی در سناریوی RCP4.5 دارای بیشترین تاثیر در شاخص پایداری مخزن می‌باشد.

سان و همکاران (Sun, Yan, Bao & Wang, 2022)، به بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی بر مقدار رواناب در حوضه آبخیز کینهوای[1] چین با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج نشان داد که مدل کالیبره شده SWAT می‌تواند مقدار رواناب را در مقیاس روزانه و ماهانه پیش‌بینی نماید. نسبت به دوره پایه میانگین بارش

1 Qinhuai

سالانه در آینده تحت تاثیر سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب ۵/۶۴٪، ۲/۶۰٪ و ۶۸/۶٪ افزایش پیدا خواهد کرد. در نتیجه مقدار میانگین رواناب سالانه نیز به ترتیب ۱۶/۲۴٪، ۸/۸۴٪ و ۱۷/۹۶٪ افزایش خواهد یافت. همچنین افزایش رواناب مقدار آب کافی برای توسعه اقتصادی و اجتماعی را در منطقه فراهم خواهد کرد.

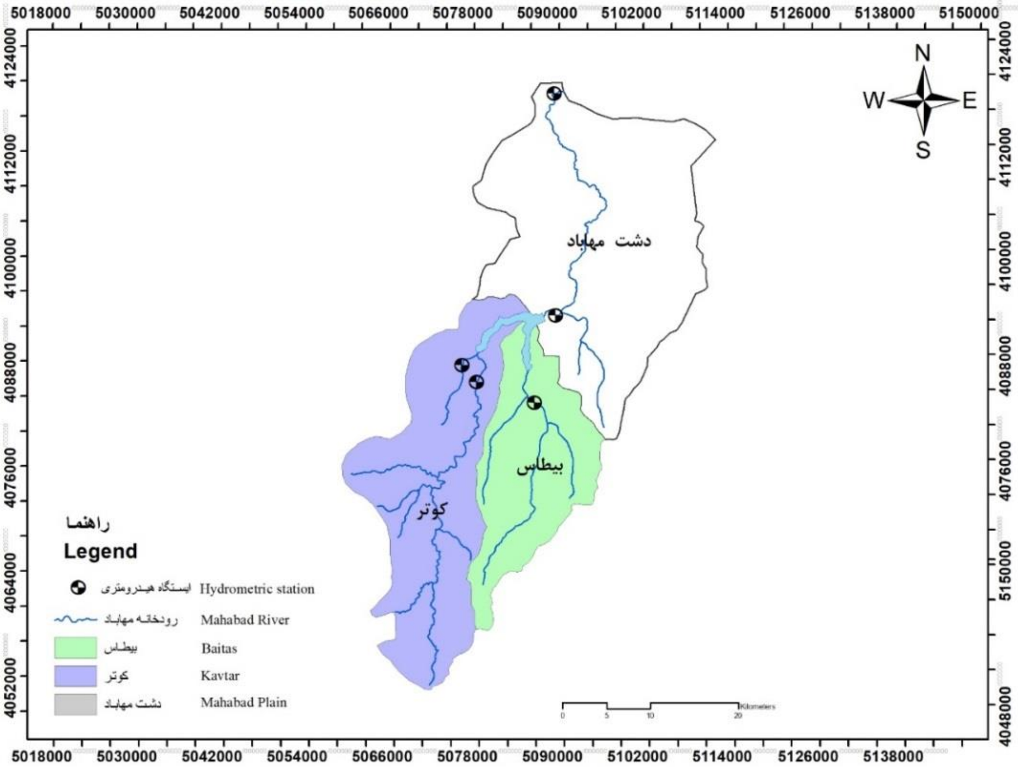
کاهش آبدهی رودخانهٔ کوتر و بیطاس به عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین آب سد مهاباد، برداشت‌های غیر مجاز از آب‌های سطحی، رقابت بر سر آب بین بخش‌های مختلف و تأثیر آن بر سیستم آبی حوضه، ضرورت برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب این منطقه را نشان می‌دهد. این در حالی است که دردسترس نبودن داده‌های کافی از آبدهی در سراسر حوضه، مدیریت منابع آب سطحی را با مشکل مواجه کرده است.

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی وضعیت منابع آبی حوضه آبخیز سد مهاباد و تاثیر سناریوهای افزایش تقاضا بر نحوه تامین نیازها می‌باشد. بر این اساس وضعیت منابع آب دشت مهاباد در دو بخش کشاورزی و شرب با استفاده از مدل WEAP تحت ۵ سناریو مرجع و افزایش جمعیت و سطح زیر کشت (S1، S2 وS3) مورد بررسی و مقایسه قرار خواهد گرفت که هدف از آن رسیدن به جواب این سوال است که آیا سد مهاباد توانایی تامین نیازهای آبی شرب شهر مهاباد و حقابه‌های قانونی پایین دست را دارد یا خیر.

مواد و روش‌ها

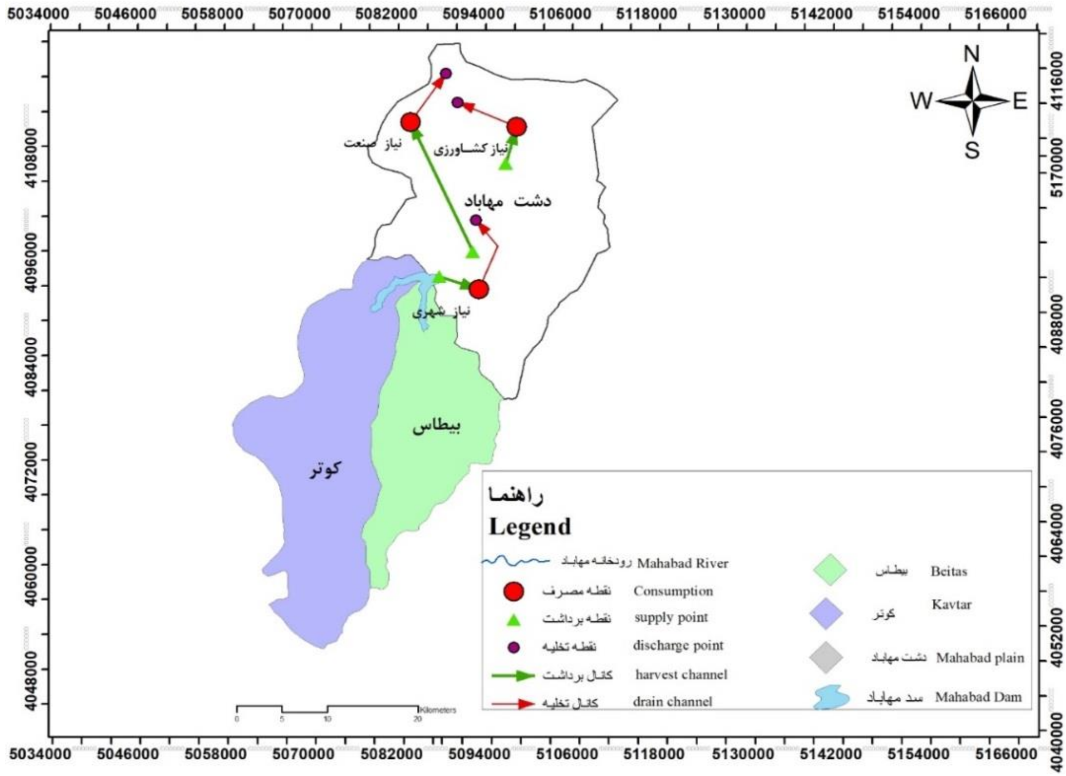
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیزسد مهاباد در شمال غربی کشور ایران و در استان آذربایجان غربی با مساحت ۱۳۸۴ کیلومترمربع واقع شده است. این حوضه بین مختصات جغرافیایی "۵۹ '۲۵ °۴۵ و "۵۹ '۵۳ °۴۵ طول شرقی و "۵۹ '۲۲ °۳۶ و "۵۹ '۵۹ °۳۶ عرض شمالی گسترش یافته است. از لحاظ ارتفاعی بین ارتفاع ۱۲۸۰ متر در خروجی حوضه تا ارتفاع ۲۶۳۹ متر قرار گرفته است. این حوضه از شمال به دریاچه ارومیه، از شرق به حوضه آبخیز سیمینه‌رود، از غرب به حوضه آبخیز گادر و از جنوب به حوضه آبخیز زاب (شهرستان پیرانشهر) محدود است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه شامل دو زیر حوضه کوتر و بیطاس (بالادست سد مهاباد) و دشت مهاباد (پایین دست سد مهاباد) است. زیرحوضه کوتر با مساحت ۴۶۷ کیلومترمربع در بخش غربی منطقه مورد مطالعه واقع شده است. زیرحوضه بیطاس، با ۲۸۵/۸۷ کیلومترمربع مساحت در بخش شرقی حوضه واقع است متوسط بارش سالیانه منطقه پژوهش بر اساس روش خطوط همباران ۵۴۲/۵۸ میلیمتر می باشد. فصول زمستان و بهار فصول بارندگی منطقه محسوب می‌شوند و بیشترین شدت بارندگی در بهار مشاهده می‌شود. فصل پائیز از نظر میزان بارندگی پس از بهار و زمستان در مرتبه سوم قرار دارد. حوضه آبخیز مهاباد دارای ۵ ایستگاه هیدرومتری بیطاس، کوتر، دهبکر، پل‌سرخ و گردیعقوب است. دو ایستگاه دهبکر و پل‌سرخ از سال آبی ۵۷ به بعد حذف شده و فاقد آمار می‌باشند مطالعات هواشناسی حوضه آبخیز سد مهاباد، شرکت مهندسین مشاور پنگان آوران (Penghan Avaran Consulting Engineers, 2019). در شکل (۱) و (۲) موقعیت جغرافیایی و شماتیک حوضه آبخیز مهاباد ارائه شده است.



شکل ۱- منطقه مطالعاتی حوضه آبخیزسد مهاباد

Fig.1. Study area of the Mahabad Dam Basin



شکل ۲- شماتیک مدل توسعه داده شده در نرم افزار WEAP

Fig.2. Schematic of the developed model in WEAP

روش تحقیق

مدیریت تخصیص منابع آب حوضه آبخیز سد مهاباد با مدل WEAP انجام پذیرفته است. به منظور انجام بررسی‌ها و مدل‌سازی‌های مرتبط با بخش ارزیابی و مدیریت منابع آب، اطلاعات اقلیمی (بارش و دما)، جمعیت شناسی(مقدار جمعیت شهری و روستایی) و فیزیوگرافی منطقه از سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری گردید (جدول ۱). در ادامه مرز حوضه‌های رودخانه محدوده مطالعاتی، محل قرارگیری مخزن سد، محل قرارگیری نقاط تقاضا (مصرف)، مقادیر نیاز آبی در بخش‌های شرب و خانگی، نیاز خالص آب مورد نیاز در اراضی کشاورزی، باغداری و محیط‌زیست و صنایع تحت شرب سد مهاباد مشخص شدند. داده‌های اقلیمی شامل بارش، دمای حداقل و حداکثر، تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر از سطح آب می باشند. تمام نقاط مصرف و منابع آبی موجود از جمله نقاط برداشت آب کشاورزی، شرب و صنعت از رودخانه مهاباد، کانال یا لوله‌های انتقال و همچنین محل تخلیه فاضلاب شهری و پساب صنعتی و کشاورزی در محیط نرم‌افزار Arc Map تهیه شد. سپس این نقشه‌ها در محیط WEAPفراخوانی و شماتیک مدل پیکربندی گردید.

جدول ۱- داده ها و منبع اخذ اطلاعات

Table 1- Data and sources of information

ردیف Row	نوع داده Data Type	منبع اخذ اطلاعات و داده‌ها Source of Information and Data
1	داده های اقلیمی Climatic Data	سازمان هواشناسی کل کشور National Meteorological Organization
2	داده های هیدرومتری Hydrometric Data	شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان غربی West Azerbaijan Regional Water Company
3	اطلاعات جمعیت شناسی Demographic Information	مرکز آمار و جمعیت کل کشور National Statistics and Population Center
4	اطلاعات مخازن Reservoir Information	شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان غربی West Azerbaijan Regional Water Company
5	اطلاعات کشاورزی Agricultural Information	اداره کل جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی West Azerbaijan Department of Agriculture
6	اطلاعات نیاز آبی بخش های مختلف تقاضا Water Demand Information for Various Sectors	شرکت بهره برداری وحدت مهاباد Vahdat Mahabad Operation Company

پس از پیکربندی مدل طول دورۀ شبیه‌سازی، گام زمانی، سال پایه و واحد پارامترها به مدل معرفی شدند. سال ۲۰۲۳ به دلیل وجود اطلاعات کافی و مناسب به عنوان سال پایه(سناریوی مرجع) انتخاب و طول دوره شبیه‌سازی از سال ۲۰۲۳ تا سال ۲۰۴۰ با گام‌های زمانی ماهیانه در نظر گرفته شد. مدل WEAP دارای گام‌های زمانی ماهانه و سالانه می‌باشد که در صورت وجود داده و اطلاعات، گام زمانی ماهانه از دقت بیشتری برخوردار است.

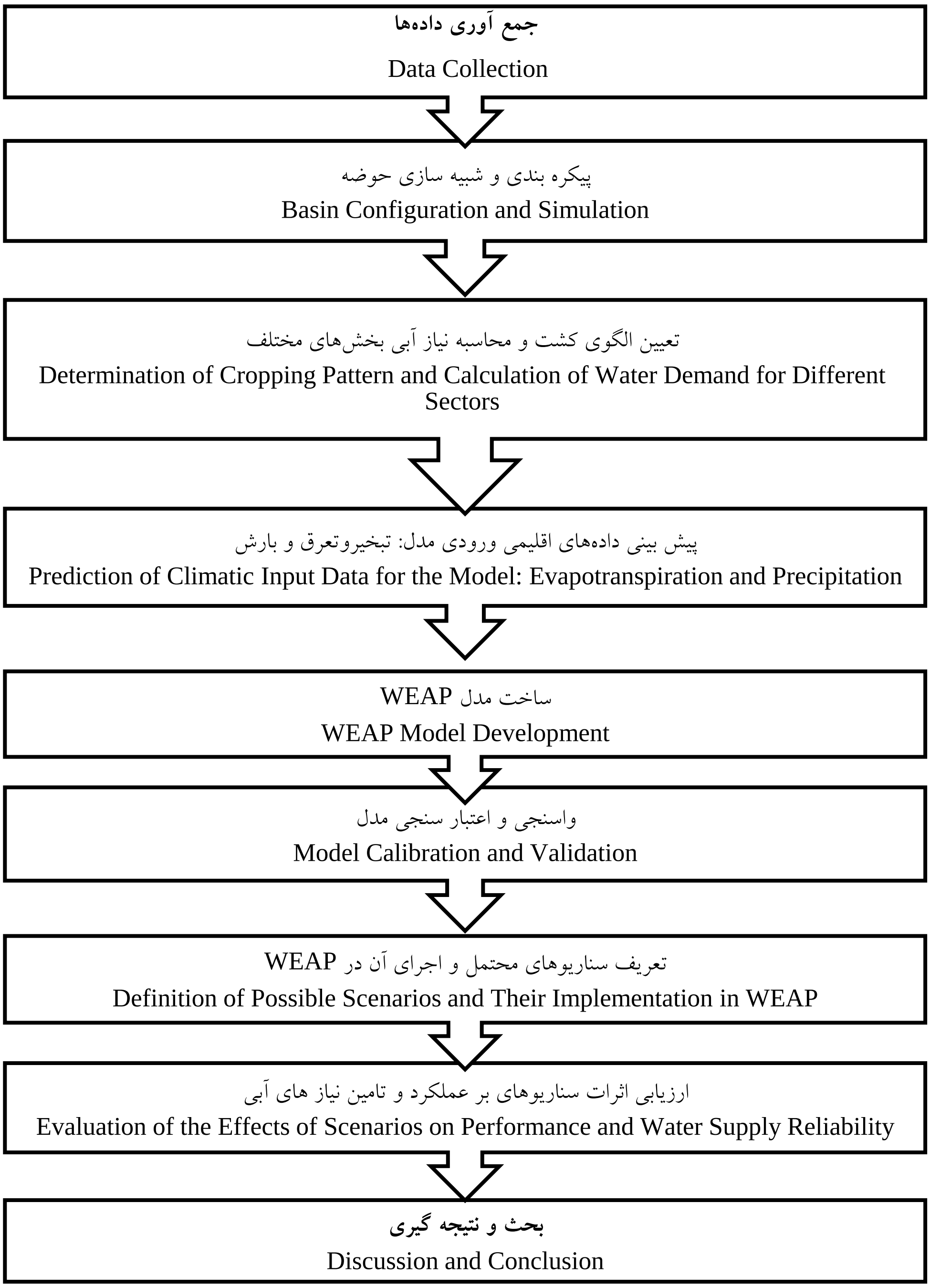
در WEAP تقاضا آبی یک گره نیاز (SD)، به صورت مجموع تقاضاهای شاخه‌های پایه آن (Br) تعریف می‌شود. شاخه پایه، شاخه‌ای است که زیر آن شاخه‌ای وجود ندارد.

$$ADDS = \sum(TALBr \times WURBr) \quad (1)$$

در رابطه(۱) AD، تقاضای سالانه، TAL تراز فعالیت کل و WUR نرخ استفاده آب است. تراز فعالیت کل از رابطه (۲) حاصل می‌شود، که در آن Br′ شاخه بالای شاخه پایه Br، Br″ شاخه بالای Br′ و ... می‌باشند. AL معرف تراز فعالیت است (Lee, Sieber & Swartz, 2005).

$$TALBr = ALBr \times ALBr' \times ALBr'' \times \cdots \quad (2)$$

گام‌های انجام این مطالعه از منظر روش‌شناسی شامل موارد زیر هستند که در شکل (۳) فرآیند کلی انجام تحقیق ارائه شده است.



شکل ۳- نمودار جریانی روش تحقیق

Fig. 3. Flowchart of the research methodology

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در پژوهش حاضر در بازه زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی مدنظر قرار گرفتند. در این راستا از مقادیر حجم و تراز مشاهداتی سد مخزنی مهاباد استفاده شد(جدول ۲). به منظور کاهش حداکثری خطاها و درنهایت دستیابی به نتایج قابل اطمینان، اقدام به واسنجی متغیرهای ورودی مدل با استفاده از روش رگرسیون‌گیری غیرخطی(الگوریتم گاوس- مارکوارت- لونبرگ) در ابزار PEST[1] درمدل WEAP شد (Doherty & Hunt, 2010). پس از واسنجی، بدون تغییر در متغیرهای ثابت و پارامترهای واسنجی شده، نتایج مدل برای دوره ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ شبیه‌سازی و اعتبارسنجی شد. هدف از این مورد تعیین کارایی مدل برای پیش‌بینی سال‌های آتی می‌باشد. برای ارزیابی کمّی نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل از شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE[2]) و ضریب نش- ساتکلیف(NSE[3]) استفاده شد. فرمول‌های استفاده شده برای این پارامترها به شرح زیر و نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است.

$$\mathrm{RMSE}^{4} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum(\mathrm{Ym}-\mathrm{Yp})^2} \quad (۳)$$

$$\mathrm{NRMSE} = \frac{\mathrm{RMSE}}{\mathrm{Xmax}-\mathrm{Xmin}} \quad (۴)$$

$$\mathrm{NASH} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n}(\mathrm{Ym}-\mathrm{Yp})^2}{\sum_{t=1}^{n}(\mathrm{Ym}-\bar{\mathrm{Y}}\mathrm{p})^2} \quad (۵)$$

که در روابط بالا Ym مقدار مشاهداتی، $\bar{\mathrm{Y}}\mathrm{m}$ متوسط مقادیر مشاهداتی، Yp مقدار پیش‌بینی شده، $\bar{\mathrm{Y}}\mathrm{p}$ متوسط مقادیر پیش‌بینی شده، Xmax و Xmin به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر مشاهداتی است. در شبیه‌سازی پارامترها هر چقدر مقدار NASH به یک و NRMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج به دست آمده از مدل دارای اطمینان بیشتری است (Rahimi & Hafez Parast Moddat, 2022).

1 Parameter Estimation tool
2 Normalized Root Mean Squared Error
3 Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient
4 Root Mean Squared Error

جدول ۲- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حجم مخزن سد مهاباد
(شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی)

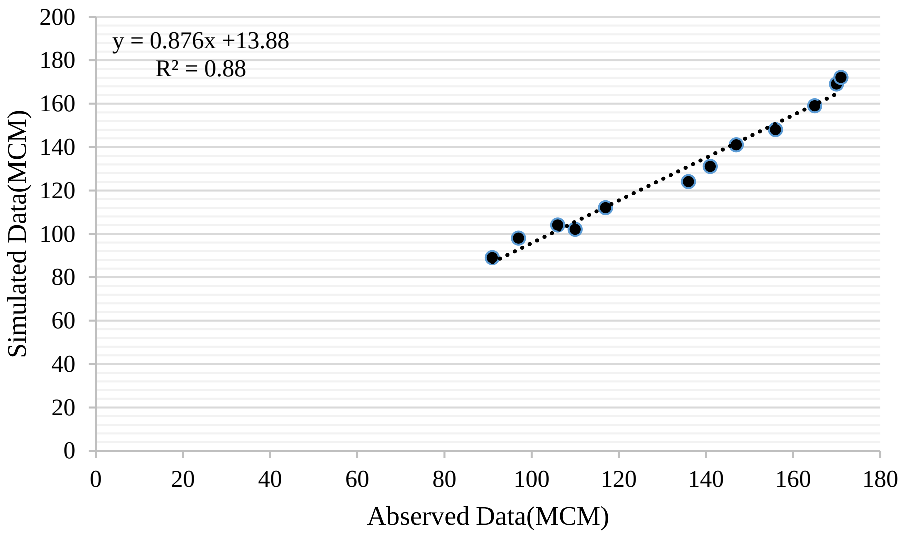
Table 2- Observed and simulated reservoir volume of the Mahabad Dam (West Azerbaijan Regional Water Company)

حجم مخزن(MCM) Reservoir Volume(MCM)	ماه‌های سال Months of the Year											
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
مقادیر مشاهداتی Observed Values	91	106	141	156	165	170	171	147	136	117	110	97
مقادیر شبیه سازی شده Simulated Values	89	104	131	148	159	169	172	141	124	112	102	98

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی دقت مدل

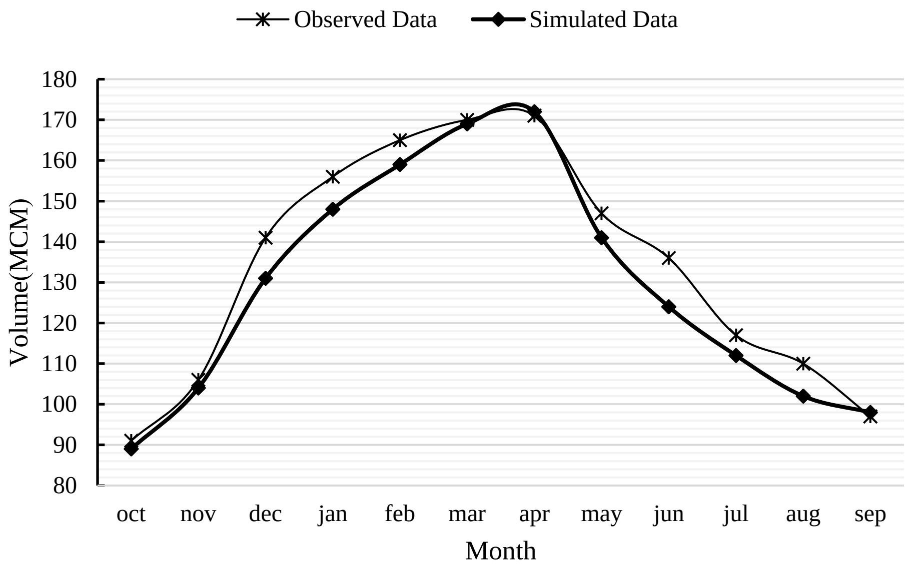
Table 3- Values of indices used for model accuracy evaluation

Index	Value	
	Calibration	Validation
NRMSE	0.08	0.11
NASH	0.94	0.85



شکل ۴- نمودار اسکاتر حجم مخزن شبیه‌سازی و مشاهده‌ای سد مهاباد

Fig.4. Scatter plot of simulated and observed volume of Mahabad Dam's reservoir



شکل ۵- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی حجم مخزن سد مهاباد بر حسب میلیون مترمکعب
Fig. 5. Comparison between observed and simulated reservoir of Mahabad Dam's volume (in million cubic meters)

سناریوها

۱- سناریوی مرجع (Reference scenario): بررسی تغییرات عرضه و تقاضا در سطح حوضه آبخیز در آینده با کمک سناریوی مرجع صورت می‌گیرد. این سناریو یک سناریوی پایه است که شرایط حال را بر مبنای منابع و مصارف فعلی مدل می‌کند و در آن از داده‌های واقعی استفاده می‌شود تا بتوان به این وسیله بهترین تخمین از دوره مورد مطالعه را انجام داد.

۲- تغییر سطح زیرکشت(S1، S2 وS3): در این سناریو فرض بر این است که در سال‌های آینده، سطح زیرکشت به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. در جدول (۴) درصد الگوی کشت پایاب سد مهاباد آورده شده است.

جدول ۴- الگوی کشت پایاب سد مهاباد در مدل WEAP
Table 4 - Downstream Cropping Pattern of Mahabad Dam in the WEAP Model (Vahdat Mahabad Operation Company, 2019)

Crop Type	Wheat	Barley	Sugar Beet	Alfalfa	Apple Orchard	Nursery	Others
Cultivated Area (%)	12	7	5	15	38	10	13

۳- سناریو افزایش جمعیت (S4): طبق آخرین گزارش مرکز آمار ایران، نرخ رشد جمعیت در مهاباد ۱/۱۷ اعلام شده است. در این سناریو فرض بر این است که تمامی شرایط ثابت بوده و میزان نرخ رشد جمعیت از ۱/۱۷ درصد به ۵ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

مبنای شاخص اطمینان پذیری (RE)

سناریوها بر مبنای شاخص اطمینان پذیری (RE) مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند. این پارامتر کل ماههایی که سیستم در تامین آب با موفقیت روبه رو بوده نسبت به تعداد کل ماه‌های دوره بهره‌برداری آن است که از طریق رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

$$\text{Re} = \left(\sum_{j=1}^{M} dj\right)/T \qquad (۶)$$

بطوریکه:

Re: شاخص اطمینان پذیری

M: کل زمانهایی که سیستم در تامین آب موفق عمل کرده است

dj: j امین پیروزی سیستم

T: کل زمان شبیه سازی

آستانه شکست سیستم برای نقاط نیاز کشاورزی ۶۰٪ و برای نیاز های شرب ۹۰٪ در نظر گرفته می‌شود (Feizi & Aghajani Jomayran, 2021).

نتایج و بحث

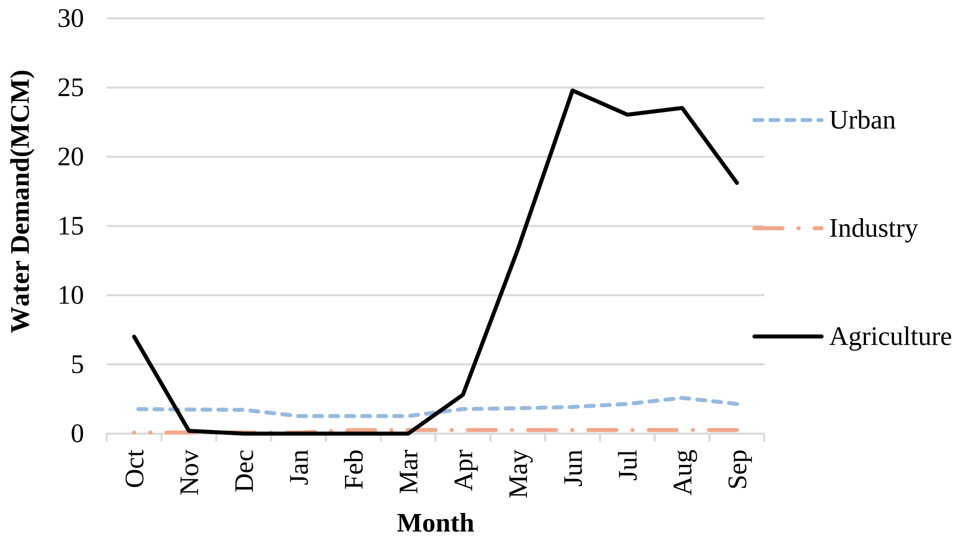
سناریوی مرجع

با توجه به نتایج مدل WEAP در سناریوی مرجع مشاهده می‌شود که بیشترین میزان نیاز در ماه‌های خرداد وکمترین‌میزان نیاز در ماه‌های دی و بهمن می‌باشد. نیاز شرب و صنعت در بیشتر ماه‌های سال به طور کامل تأمین می شود که این امر با توجه به اینکه تأمین آب در گره‌های تقاضای شرب و صنعت در اولویت اول قرار دارد دور از انتظار نبوده است(جدول۵). در شکل(۶) نمودار مقادیر حجم آب مورد نیاز برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی نشان داده شده است. در شکل (۷) نیز درصد تامین نیاز برای مصارف ذکر شده آورده شده اشت. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۴) و شکل (۶) و(۷) بیشترین آب تأمین نشده در بخش کشاورزی است که نشان دهنده‌ی اهمیت مدیریت تقاضای آب در این بخش است. با توجه به الگوی کشت منطقه، بیشتر اراضی کشاورزی به کشت محصولاتی با نیاز آبی زیاد به ویژه در ماه‌های گرم سال اختصاص دارند. بنابراین، کمبود آب در این ماه‌ها شدیدتر بوده و بخش زیادی از نیازها تأمین نمی‌شوند. در اراضی کشاورزی مجموع نیاز آبی سالانه ۲۰۰میلیون مترمکعب است که از این مقادیر، ۶۸٪ تامین می‌شود.

جدول ۵- میزان تقاضا و درصد تأمین نیاز در گره های تقاضا (سناریوی مرجع)

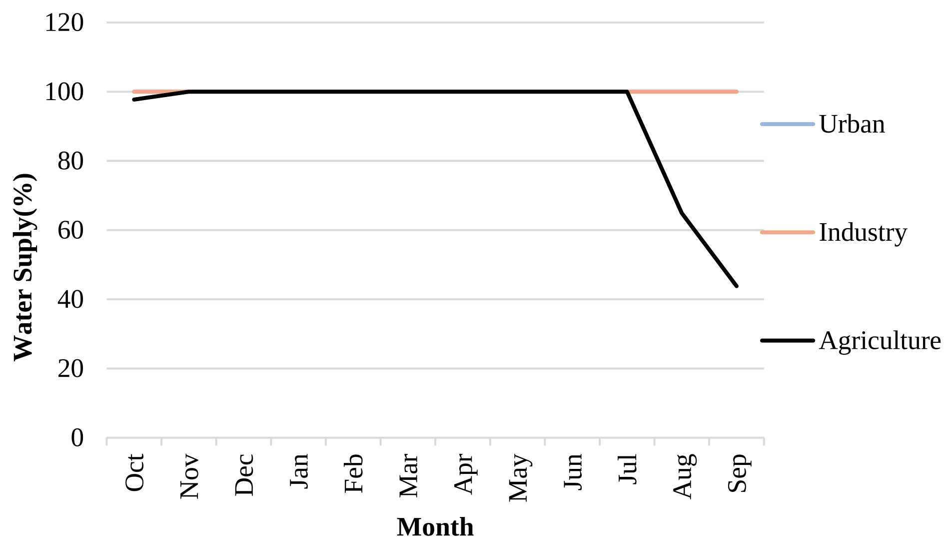
Table 5- Demand and supply percentage at demand nodes (Reference Scenario)

Demand Point		Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Domestic	Demand (MCM)	1.78	1.74	1.72	1.27	1.27	1.27	1.78	1.83	1.93	2.15	2.58	2.15
	Coverage (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Industry	Demand (MCM)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	Coverage (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Agriculture	Demand (MCM)	7	0.2	0	0	0	0	2.8	13.3	24.79	23.04	23.53	18.11
	Coverage (%)	97.7	100	---	---	---	---	100	100	100	100	64.9	43.8



شکل ۶- مقدار حجم آب مورد تقاضای نقاط نیاز(میلیون متر مکعب)

Fig. 6. Water demand volume at demand points (million cubic meters)



شکل ۷- درصد تامین نقاط نیاز

Fig.7. Percentage of demand point supply

ارزیابی سناریوها و نتایج مدیریت تخصیص منابع آب با استفاده از مدلWEAP

مقایسه اثر سناریوهای مرجع و افزایش سطح زیر کشت

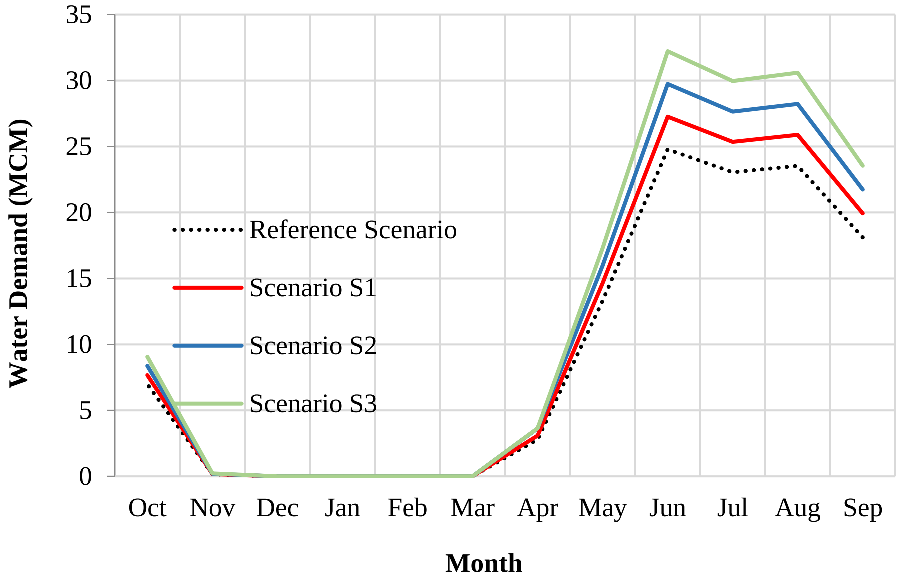
نتایج افزایش سطح زیرکشت (S1، S2 و S3) در جدول (۶) ارائه شده است. بر این اساس در صورت افزایش سطح زیر کشت، میزان تقاضا به ترتیب ۱۰/۵، ۲۱ و ۳۲ میلیون متر مکعب افزایش خواهد یافت و درصد تأمین نیاز در اراضی کشاورزی از ۷۸ در سناریوی مرجع به ترتیب به ۷۴، ۷۳ و ۶۹ درصد در سناریوهای (S1، S2 و S3) کاهش می‌یابد.

در شکل (۸) نمودار سناریوهای افزایش سطح زیرکشت (S1، S2 و S3) و در شکل (۹) درصد پوشش تقاضای کشاورزی در سناریوهای مرجع و افزایش سطح زیرکشت نشان داده شده است. طبق این سناریو میزان کل تقاضای کشاورزی از ۱۱۲/۷۱۵ میلیون‌مترمکعب در سال (سناریوی مرجع) به ۱۴۶/۵۳۰ میلیون مترمکعب در سال (سناریوی S3) افزایش پیدا خواهد کرد.

جدول ۶- تغییرات تقاضا و درصد تأمین نیاز نسبت به سناریوی مرجع تا انتهای سال ۲۰۴۰

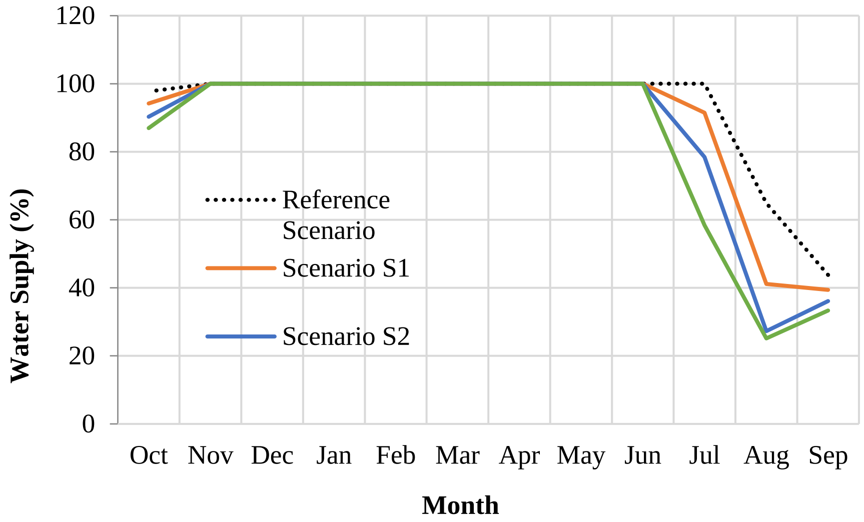
Table 6- Changes in demand and supply percentage compared to the reference scenario until the end of 2040

Demand Point			Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Agriculture	Reference	Demand (MCM)	7	0.2	0	0	0	0	2.8	13.3	24.79	23.04	23.53	18.11
		Coverage(٪)	97.7	100	---	---	---	---	100	100	100	100	64.9	43.8
	S1	Demand (MCM)	7.67	0.18	0	0	0	0	3.08	14.63	27.26	25.35	25.88	19.93
		Coverage(٪)	94.20	100	---	---	---	---	100	100	100	91.48	41.16	39.40
	S2	Demand (MCM)	8.37	0.2	0	0	0	0	3.36	15.96	29.74	27.65	28.23	21.74
		Coverage(٪)	90.27	100	---	---	---	---	100	100	100	78.44	27.28	36.11
	S3	Demand (MCM)	9.07	0.22	0	0	0	0	3.64	17.29	32.22	29.96	30.59	23.55
		Coverage(٪)	86.95	100	---	---	---	---	100	100	100	58.40	25.14	33.33
Domestic Consumption and …	Reference	Demand (MCM)	1.78	1.74	1.72	1.27	1.27	1.27	1.78	1.83	1.93	2.15	2.58	2.15
		Coverage(٪)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	S4	Demand (MCM)	2.47	2.41	2.39	1.77	1.77	1.77	2.47	2.53	2.68	2.98	3.58	2.98
		Coverage(٪)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



شکل ۸- میزان تقاضای کشاورزی در سناریوهای مرجع و افزایش سطح زیر کشت(MCM)

Fig.8. Agricultural water demand in the reference and cultivated area expansion scenarios (MCM)

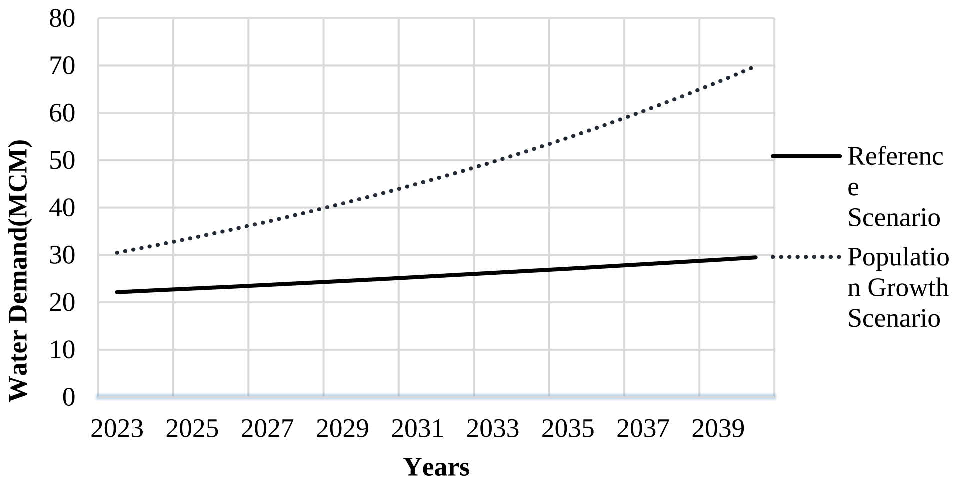


شکل ۹- درصد پوشش تقاضای کشاورزی در سناریوهای مرجع و افزایش سطح زیرکشت

Fig. 9. Percentage of agricultural demand coverage in the reference and cultivated area expansion scenarios

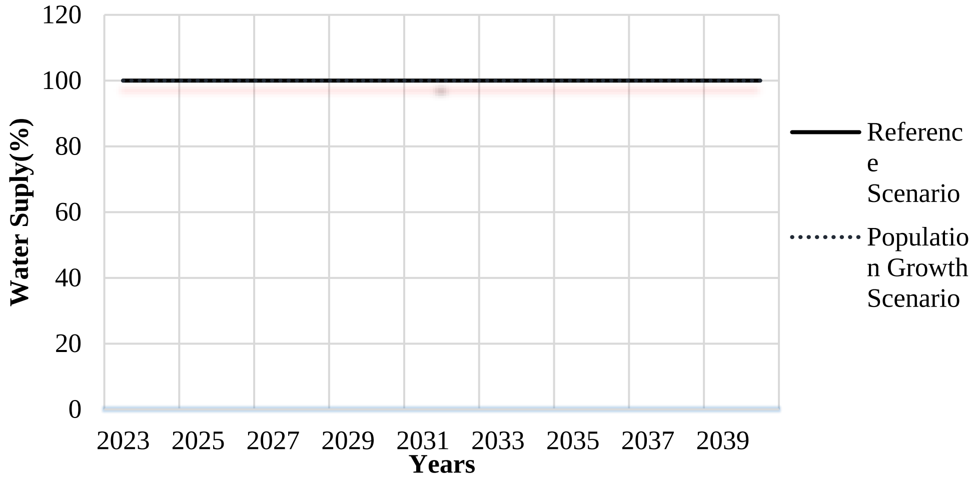
مقایسه اثر سناریوهای مرجع و افزایش نرخ رشد جمعیت بر تأمین تقاضای آب در منطقه

نتایج مربوط به سناریوی S4 در جدول (۶) و اشکال (۱۰) و (۱۱) نشان می‌دهند که در صورت تغییر نرخ رشد جمعیت از ۱/۷٪ به ۵٪ مقدار تقاضا تا آخر سال ۲۰۳۰، ۱۵/۲۷ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد و از ۲۲ میلیون مترمکعب در سال به ۳۰/۵۰ میلیون مترمکعب در سال خواهد رسید. درصد تأمین نیاز شرب شهر مهاباد تغییر نخواهد کرد و ۱۰۰٪ آن قابل تامین خواهد بود.



شکل ۱۰- میزان تقاضای شهر مهاباد در سناریوهای مرجع و افزایش نرخ رشد جمعیت(MCM)

Fig.10. Water demand of Mahabad City in the reference and population growth rate increase scenarios (MCM)



شکل ۱۱- درصد پوشش تقاضای شهر مهاباد در سناریوهای مرجع و افزایش نرخ رشد جمعیت

Fig.11. Percentage of Mahabad City demand coverage in the reference and population growth rate increase scenarios

شاخص اطمینان پذیری(RE)

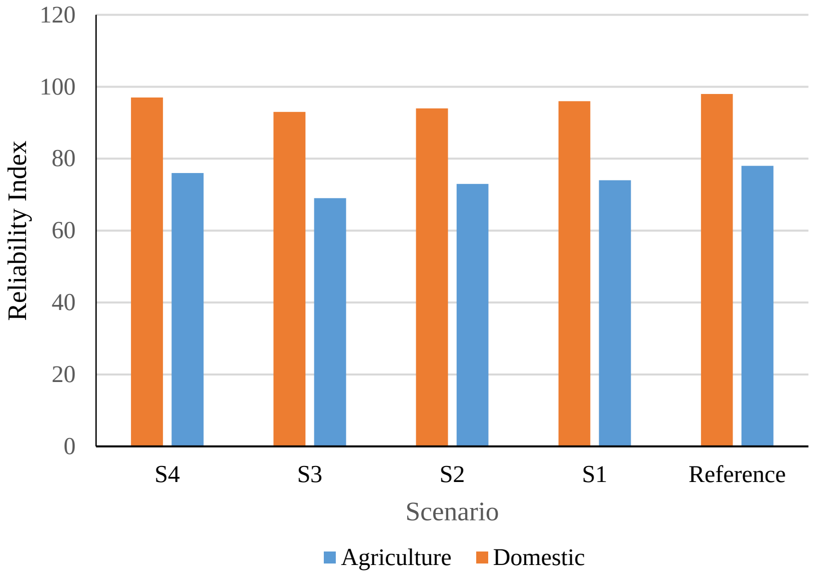
مقادیر برآوردشده از شاخص اطمینان پذیری (RE) که مبنای ارزیابی سناریوهای تعریف شده می‌باشد، در جدول (۷) و شکل (۱۲) ارائه شده است.

همانطور که در جدول و نمودار پایین مشاهده می گردد، در نقطه نیاز کشاورزی سیستم موفق عمل کرده و در تمامی سناریو های اعمالی شاخص اطمینان پذیری بالای ۶۰ درصد است که بیشترین آن مربوط به سناریوی مرجع با ۷۸ درصد و کمترین آن مربوط به سناریوی S3 با ۶۹ درصد می‌باشد. در نقطه نیاز شهری نیز همانطور که مشخص است در تمامی سناریوها شاخص اطمینان‌پذیری بالای ۹۰ درصد بوده و سیستم موفق عمل کرده است. بالاترین مقدار این شاخص مربوط به سناریوی مرجع با ۹۸ درصد و کمترین آن مربوط به سناریوی S3 با ۹۳ درصد می باشد. بنابراین در تمامی سناریوها توانایی تامین آب شرب مطمئن وجود دارد.

جدول ۷- شاخص ارزیابی سناریوهای تعریف شده

Table 7- Evaluation indices of the defined scenarios

		Demand Point	
Scenario	**Index**	**Domestic**	**Agriculture**
Reference	RE(%)	98	78
S_1		96	74
S_2		94	73
S_3		93	69
S_4		97	76



شکل ۱۲- شاخص اطمینان‌پذیری بر حسب درصد در سایت‌های کشاورزی و شهری
Fig.12. Reliability index (percentage) in agricultural and urban sites

در دو دهه اخیر در سراسر جهان سعی شده است استفاده از منابع آب محدود و تخصیص آن به مصرف کنندگان، با نگرشی یکپارچه انجام شد و در همین راستا، مدل‌های مختلفی به منظور شبیه‌سازی مدیریت یکپارچه منابع‌آب و ارزیابی چگونگی تخصیص منابع آب محدود میان مصرف‌کنندگان گوناگون توسعه یافته‌اند. در پژوهش حاضر وضعیت منابع آب با مدل WEAP شبیه‌سازی شد و سناریوهای مختلف موردبررسی قرار گرفت و میزان تخصیص آب در دوره پایه و تحت سناریوهای افزایش رشد جمعیت و افزایش سطح زیر کشت مقایسه شدند. با توجه به نتایج حاصل از مدل WEAP می‌توان نتیجه گرفت در حالت پایه در فصل تابستان که بیشترین مقدار تقاضا برای آب در بخش کشاورزی وجود دارد، تمام تقاضا برآورده نمی‌شود و تقاضای تأمین نشده وجود خواهد داشت. این وضعیت در سناریوی‌های افزایش سطح زیرکشت تشدید خواهد شد. به طوری که مقدار تقاضای تأمین نشده از ۱۸ میلیون مترمکعب در سال به ۵۲ میلیون مترمکعب خواهد رسید. با توجه به اولویت تأمین تقاضای در یک مقایسه کلی بخش شهری نسبت به سایر بخش‌های تقاضا و با توجه به این نکته که تا زمانی که نیاز این بخش به طور کامل تأمین نشود ناچار به کاهش آب اختصاص یافته به سایر بخش‌های تقاضا نظیر کشاورزی، محیط زیست و صنعت خواهیم بود لذا در تامین نیاز شرب و خانگی شهر مهاباد کمبودی پیش نخواهد آمد. با تاکید بر این واقعیت که عمده مصرف آب در بخش کشاورزی است لذا هرگونه سناریویی که مستقیماً بخش کشاورزی را هدف قرار دهد دارای بیشترین تأثیرگذاری در به تعادل رساندن عرضه و تقاضای آب در منطقه طی سال‌های آتی منطقه خواهد بود لذا می‌توان نتیجه گرفت که صرف نظر از نیازهای شرب و صنعت که قرار است در همه سناریوها به طور کامل تأمین شوند، نیاز کشاورزی کمترین

درصد اطمینان پذیری را از میان سایر نیازها دارد. بررسی شاخص اطمینان پذیری نشان می دهد که افزایش سطح زیرکشت، سبب کاهش ۹ درصدی این شاخص نسبت به دوره پایه خواهد شد و همین امر نیاز به مدیریت صحیح منابع آب را تایید می‌کند (Höllermann, Giertz & Diekkrüger, 2010). با ادامه روند کنونی و افزایش جمعیت و خصوصا افزایش سطح زیرکشت، امکان رسیدن به تعادل در عرضه و تقاضای آب در حوضه آبخیز سد مهاباد وجود ندارد. البته لازم به ذکر است پژوهش حاضر صرفا برای بررسی سناریوهای مختلف و تأثیر آنها بر درصد تأمین نیاز انجام شده و جنبه های اقتصادی در آن بررسی نشده است. پیشنهاد می‌شود مطالعات اقتصادی تأثیر هر یک از سناریوها در سطح حوضه آبخیز مهاباد نیز مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج این بخش از پژوهش با مطالعات، اکبری و همکاران (Akbari et al., 2023) که به ارزیابی بهره برداری از سدها تحت برنامه های مختلف مدیریتی، مردانیان و همکاران (Mardanian et al., 2020) که به تخصیص بهینه منابع آب حوضه خانمیرزا، شرافتی و سبحانی (Sharafati & Sabhani Sanjbad, 2019) که به بهینه سازی تخصیص آب مخزن سد یامچی، ابریشم‌چی و همکاران (Abrishamchi et al., 2007) که به تأثیر سناریوهای مدیریت منابع آب حوضه آبخیز رودخانه کرخه و اینگول بلنکینی و مک‌کنی (Ingol-Blanco & McKinney, 2009) که به شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژی پرداختند، مطابقت داشت. نتایج همگی گویای دقت مناسب مدل در بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده و نتایج قابل قبول آن در پیش‌بینی تخصیص منابع آب می‌باشند.

نتیجه‌گیری

با توجه به محدودیت منابع آب در جهان و به خصوص در منطقه مورد مطالعه و همچنین رشد سریع نیازها، نقش مدیریت منابع آب بیش از هر زمان دیگری احساس می‌شود. در این مطالعه با به کارگیری مدل شبیه‌سازی WEAP، ارزیابی و مدیریت منابع آب موجود شبکه سد مهاباد واقع در استان آذربایجان غربی و تأمین تقاضا در بخش های شرب، کشاورزی، صنعت و محیط زیست با در نظر گرفتن رشد نیاز آنها در آینده انجام شده است.

مدل WEAP یک چارچوب جامع، منعطف و کاربرپسند برای تحلیل سیاست ارائه می‌دهد. پس از جمع‌آوری اطلاعات و شبیه‌سازی منابع و مصارف سد مهاباد در مدل، سناریوها تدوین و ارزیابی شدند. این مدل با در نظر گرفتن دبی‌های ورودی، منابع آب ذخیره شده در مخزن سد، انواع نیازهای آبی و اولویت دهی به آنها، میزان اطمینان پذیری و تامین نیازها را محاسبه می‌کند. با درنظر گرفتن سه سطح کشت متفاوت و همچنین تغییر نرخ رشد جمعیت، مقادیر تأمین و کمبود برای هر نقطه نیاز برآورد گردید. نتایج نشان می‌دهد منطقه دشت مهاباد طبق سناریو مرجع با کمبود ۱۸/۸ میلیون متر مکعب و براساس سناریوهای S1، S2، S3 و S4 به‌ترتیب با کمبود ۳۰، ۴۱، ۵۲ و ۲۱ میلیون متر مکعب روبه رو خواهد شد. با توجه به نتایج بدست آمده از سناریوی مرجع و افزایش نرخ رشد جمعیت، سد مهاباد می‌تواند تمامی نیازهای شرب را در تمامی ماه‌های سال برآورد کند. نیاز کشاورزی که دارای بیشترین نیاز در افق ۱۷ ساله است بدون هیچ گونه افزایش سطحی نیز با کمبود

آب مواجه است و افزایش بیشتر سطح اراضی کشاورزی سبب کاهش شدید حجم مخزن سد خصوصاً در ماه‌های تابستان می‌شود. نیاز آبی در ماه‌های خرداد و مرداد حداکثر و به ۲۷ میلیون متر مکعب در ماه می‌رسد. از طرفی این ماه‌ها خصوصا مرداد جزء کم آب‌ترین ماه‌های سال است و مسلماً مدیریت بهره‌برداری از سد می‌تواند نقش بسزایی در تأمین نیازها به خصوص نیاز کشاورزی داشته باشد که با نتایج رحیمی و حافظ‌پرست (Rahimi & Hafez Parast Moddat, 2022)، اکبری و همکاران (Akbari et al., 2023) مطابقت دارد. شبیه‌سازی سناریو های مختلف در WEAP نشان می‌دهد تأمین تقاضاهای کشاورزی از ۶۹ تا ۷۸ درصد متغیر است. همچنین درصد تامین نیاز شرب سیستم بین ۹۳ تا ۹۸ درصد است. لذا پیشنهاد می‌گردد از هرگونه افزایش سطح اراضی کشاورزی، تبدیل اراضی دیم به آبی و همچنین کاشت محصولات آب برخودداری گردد.

References

Abrishamchi, A., Alizadeh, H., Tajrishy, M., & Abrishamchi, A. (2007). Water resources management scenario analysis in Karkheh River Basin, Iran, using WEAP model. *Hydrological Science and Technology*, *23*(1/4), 1.

Akbari, Y., Shamsi, Z., Khani Temeliyeh, Z., & Mirabbasi Najafabadi, R. (2023). Evaluating the operation of dams under different management programs using the WEAP model (case study: Kardeh Dam of Mashhad). *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, *2*(1), 145-160. [In Persian] https://doi.org/10.22034/nawee.2023.409943.1049

Bagheri, H. M., & Morid, S. (2013). Comparison of WEAP and MIKE BASIN models in water resources allocation (Case study: Tlavar River). *Journal of Water and Soil Conservation*, *20*(1), 151-167. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222069.1392.20.1.8.6

Dashti, G., Sani, F., Hosseinzadeh, J., & Majnoni, A. (2022). Evaluation of Agricultural Sustainability Indicators under Climate Change and Water Resources Management Scenarios in Aji Chay Basin. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production (Agricultural Knowledge)*, *32*(1), 325-341. [In Persian] https://journals.tabrizu.ac.ir/article_14553.html

Doherty, J. E., & Hunt, R. J. (2010). *Approaches to highly parameterized inversion-A guide to using PEST for groundwater-model calibration* (No. 2010-5169). US Geological Survey. https://doi.org/10.3133/sir20105169

Feizi, A., & Aghajani Jomayran, R. (2021). Allocation and management of water resources in the Yamchi Dam Basin with a scenario analysis approach using the WEAP model. *Journal of Environmental Science and Technology*, *23*(9), 89-107. [In Persian] https://sanad.iau.ir/Journal/jest/Article/837447

Hakami-Kermani, A., Babazadeh, H., Porhemmat, J., & Sarai-Tabrizi, M. (2020). An uncertainty assessment of reservoir system performance indices under the climate change effect. *Ain Shams Engineering Journal*, *11*(4), 889-904. https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.03.015

Höllermann, B., Giertz, S., & Diekkrüger, B. (2010). Benin 2025—Balancing future water availability and demand using the WEAP 'Water Evaluation and Planning'System. *Water Resources Management*, *24*, 3591-3613. http://dx.doi.org/10.1007/s11269-010-9622-z

Ilich, N. (2024). Dynamic reservoir rule curves–Their creation and utilization. *Journal of Hydrology X*, *22*, 100166. https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2023.100166

Ingol-Blanco, E., & McKinney, D. C. (2009). *Hydrologic model for the Rio Conchos Basin: Calibration and validation*. Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin.

Layani, G., & Bakhshoodeh, M. (2022). Effects of climate change on the agricultural sector in the Kheirabad River Basin: Application of WEAP Software. *Agricultural Economics Research*, *13*(4), 208-223. [In Persian] https://doi.org/10.30495/jae.2021.21701.2030

Lee, A. H., Sieber, J., & Swartz, C. (2005). *WEAP. Water Evaluation and Planning System*. Userguide. Stockholm Environment Institute. Tellus Institute, Boston, MA.

Mardanian, S., & Abdollahi, K. (2020). Optimal Allocation of Water Resources in Khanmirza Watershed Using WEAP. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, *14*(49), 11-19. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089554.1399.14.49.7.6

Penghan Avaran Consulting Engineers. (2019). Meteorological studies of the Mahabad Dam watershed . [In Persian]

Pourmohammadi, S., Fatemi, M., Rasaie, F., Hashemi Monfared, S. A., & Khosravi, M. (2021). Effects of weather modification operations on water resources of Khash basin using water evaluation and planning (WEAP) model. *Water and Soil Management and Modelling*, *1*(2), 14-24. [In Persian] https://doi.org/10.22098/mmws.2021.1253

Rahimi, B., & Hafez Parast Moddat, M. (2022). Runoff prediction using the SVR model under climate scenarios and estimation of water demands due to its changes in the WEAP model. *New Approaches in Water and Environmental Engineering*, *1*(1), 75-90. [In Persian] https://doi.org/10.22034/nawee.2022.154268

Ramadan, E. M., Shalash, O. S., Fahmy, M. R., & Abdel-Aal, G. M. (2019). Integrated water resource management in Sharkia Governorate, East Nile Delta using numerical evaluation of water management strategies. *Alexandria Engineering Journal*, *58*(2), 757-771. https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.06.006

Sharafati, A., & Sabhani Sanjbad, M. (2019). Optimization of water allocation from the Yamchi Dam reservoir using the WEAP model and multi-criteria evaluation. Paper presented at the Proceedings of the 14th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran, Urmia. [In Persian] https://civilica.com/doc /1012028

Sun, J., Yan, H., Bao, Z., & Wang, G. (2022). Investigating impacts of climate change on runoff from the Qinhuai River by using the SWAT model and CMIP6 scenarios. *Water*, *14*(11), 1778. https://doi.org/10.3390/w14111778

Vahdat Mahabad Operation Company. (2019). *Watershed studies of the Mahabad Dam*.West Azerbaijan Regional Water Company. Studies Department .[In Persian]

Yaghobi, B., Shabanlou, S., & Yosefvand, F. (2014). Simulation of rainfall-runoff using WEAP model (case study: Qaraso basin). *Agricultural Communications*, *2*(4), 63-68. http://www.agricommun.com/content/archive%20volumes/volume%202_4/Agri.%20Commun.%202_4_9.pdf